

Dipl.-Ing. (FH) Marco Wilke | Mathias Röper, M. Eng. | Dr.-Ing. Stefan Bofinger

Sonnwinne Photovoltaik

Netzwerk unabhängiger Gutachter für Photovoltaik und Stromspeicher

Blendgutachten

PVA ROM 1

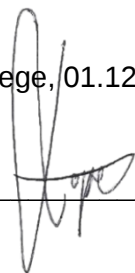
VERSION 1.0

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik
Mathias Röper, M. Eng.

Achter de Schün 1
25436 Moorrege
+49 (0) 4122 509100
mathias.roeper@sonnwinn.de
www.sonnwinn.de

Moorrege, 01.12.2022



Review:

Sachverständiger für Photovoltaik
Dipl.-Ing. (FH) Marco Wilke

Riesenweg 9
21244 Buchholz in der Nordheide
+49 (0) 4181 2326110
marco.wilke@sonnwinn.de
www.sonnwinn.de

Moorrege, 01.12.2022



Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.0	Erste Fassung	01.12.2022	Mathias Röper

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Fragestellung	3
1.2	Haftungsausschluss	3
1.3	Datengrundlage.....	3
1.4	Methodik	3
2	Anlagenbeschreibung.....	4
3	Zusammenfassung der Ergebnisse	8
4	Grundlagen	9
4.1	Blendwirkung von Modulen	9
4.2	Modellierung der Reflexionen.....	11
5	Umliegende schutzwürdige Räume (Immissionsschutz)	12
5.1	Übersicht.....	12
5.2	Ergebnisse	14
5.2.1	Zusammenfassung.....	15
5.2.2	Süd-Ausrichtung.....	15
5.2.3	Ost-West-Ausrichtung	15
6	Umliegender Straßenverkehr.....	17
6.1	Übersicht.....	17
6.2	Ergebnisse	19
6.2.1	Zusammenfassung.....	19
6.2.2	Süd-Ausrichtung.....	19
6.2.3	Ost-West-Ausrichtung	23
7	Literaturverzeichnis	25
Anhang A:	Annahmen und Limitationen von SGHAT	26

1 Einleitung

Die Mapronea GmbH (Kunde) hat Herrn Mathias Röper, Sachverständiger für Photovoltaik, damit beauftragt, die potenzielle Blendwirkung der geplanten Photovoltaikanlage (PVA) „Rom 1“ in 19372 Rom zu analysieren und zu bewerten. Zudem wurde der vorliegende Bericht von Herrn Marco Wilke, Sachverständiger für Photovoltaik, in externer Zuarbeit geprüft (Review).

1.1 Fragestellung

Es stellt sich die Frage, ob die Solarmodule der geplanten PVA Sonnenlicht so reflektieren, dass erhebliche Belästigungen durch Lichtimmissionen auf umliegende Gebäude und/oder Beeinträchtigungen durch Blendwirkungen für den umliegenden Straßen- und Bahnverkehr entstehen. Dieses Gutachten dient der Beantwortung dieser Frage und stellt dar, ob und mit welcher Häufigkeit Lichtimmissionen/Blendwirkungen auftreten können.

1.2 Haftungsausschluss

Dieser Bericht wurde für die alleinige Nutzung des Kunden und in dessen Auftrag ausgearbeitet. Die Berechnungen und Auswertungen erfolgten nach bestem Wissen und Gewissen. Irrtümer, Fehler, etc. sind hierbei trotz großer Sorgfalt nicht vollständig auszuschließen. Daher wird für Folgeschäden, die aus der Anwendung des Gutachtens resultieren, keine Haftung übernommen. Die Haftung auf Schadenersatz bei grober Fahrlässigkeit oder Vorsatz bleibt unberührt. Wenn der Bericht an Dritte weitergegeben wird, darf er nicht verändert oder bearbeitet werden. Wenn sich Dritte den Inhalt dieses Berichts zu Nutze machen, ist jegliche Haftung grundsätzlich ausgeschlossen.

1.3 Datengrundlage

Die Modellierung der PVA zur Analyse potenzieller Blendwirkungen basiert auf den vom Kunden bereitgestellten Planungsunterlagen und Angaben. Eine Besichtigung vor Ort fand nicht statt. Zudem wurden Daten zur solaren Einstrahlung aus etablierten Langzeitdatenbanken verwendet [1]. Informationen bzgl. umliegender Gebäude, Straßenverläufe, Vegetation und der lokalen Topografie wurden Satellitenbildern und Karten entnommen (Google Earth Pro, GeoBasis-DE, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, OpenStreetMap).

1.4 Methodik

Laut der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) hat der Gesetzgeber bisher keine Regelungen zur Bestimmung und Auswertung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen für Lichtimmissionen erlassen [2]. Jedoch hat die LAI mit dem Dokument „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ einen Leitfaden zur Verfügung gestellt (im Folgenden *LAI-Leitfaden* genannt), welcher in Anhang 2 Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung von PVA-bedingten Blendwirkungen aufführt [2]. Die Methodik des Gutachtens basiert auf dem LAI-Leitfaden und wurde um wissenschaftliche Erkenntnisse und etablierte „Best-Practice“-Methoden erweitert, welche an gegebener Stelle im vorliegenden Bericht referenziert werden.

2 Anlagenbeschreibung

Die geplante PVA Rom 1 soll auf (aktuell) landwirtschaftlicher Nutzfläche als Freiflächenanlage realisiert werden. Das Anlagengelände befindet sich in der Gemeinde Rom (PLZ: 19372). Das PVA-Gelände grenzt im Norden an die Bahnstrecke der Mecklenburgischen Südbahn. Zudem durchläuft die Kreisstraße K 121 (Bahnhofstraße) das Gelände. Rund 1 km südlich befindet sich das Siedlungsgebiet der Gemeinde.

Die PVA besteht aus fünf Planteilen (siehe Abbildung 2). Ein Planteil stellt ein Generatorfeld (Fläche mit PV-Modulen) dar.

Die PVA befindet sich in einem frühen Planungsstadium. Um dennoch ein aussagekräftiges Blindgutachten erstellen zu können, wurden verschiedene Ausrichtungsmöglichkeiten der Module (Azimut und Modulneigung) ausgewertet. Berücksichtigt wurde eine Süd- sowie eine Ost-West-Ausrichtung (siehe Abbildung 1 für ein Beispiel einer Ost-West-Anlage) mit Modulneigungswinkeln von je 15°, 20° und 25°. Somit wurden insgesamt sechs unterschiedliche Ausrichtungsvarianten untersucht. Zudem wurde die Annahme getroffen, dass die zur Verfügung stehenden Flächen (innerhalb der Baugrenzen) maximal mit PV-Modulen belegt werden.

Relevante Anlagenparameter werden in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 1: PVA-Parameter

PVA-Parameter	Wert / Angabe
Nennleistung (Modulleistung gesamt)	ca. 14,4 MWp
Anlagenfläche (innerhalb der Baugrenzen)	ca. 13,1 ha
Modulabmessung	2,279 m x 1,334 m
Modultyp	JA Solar – JAM72S30 550/MR
Aufständering	3 Module im Portrait-Format oder 6 Module im Landscape-Format übereinander
Modulneigung	15°, 20°, 25°
Modulausrichtung (Azimut)	180° Süd, 90°/270° Ost-West
Höhe untere Modulunterkante	0,7 m
Höhe obere Modulkante	3 m bis 4,45 m (je nach Neigungswinkel)
Adresse	19372 Rom
Geo-Koordinaten des Geländes (Breite, Länge)	53.457350°, 11.952902°



Abbildung 1: Beispiel einer Ost-West-Anlage



Abbildung 2: Übersicht der geplanten PVA: Die Generatorfelder der Planteile sind in Blau dargestellt, projektbezogene Ausgleichsflächen in Grün – Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro



Abbildung 3: Aufnahme von Planteil 1 - Quelle: Kunde



Abbildung 4: Aufnahme von Planteil 2 - Quelle: Kunde



Abbildung 5: Aufnahme von Planteil 3 - Quelle: Kunde



Abbildung 6: Aufnahme von Planteil 4 und 5 - Quelle: Kunde

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Umliegende Gebäude

In unmittelbarer Nähe zur PVA existieren zwei bewohnte Wohnhäuser. Aufgrund der umliegenden Vegetation (die sich auch zum Teil auf den jeweiligen Grundstücken befindet) ist die Sicht von den Häusern auf die PV-Module so weit eingeschränkt, dass keine Reflexionen auf die Gebäude treffen können (Ist-Zustand).

Ohne Vegetation (hypothetisches Szenario) entstünden bei einer Süd-Ausrichtung der Module weiterhin keine stärkeren Belästigungen an den Wohnhäusern. Bei einer Ost-West-Ausrichtung ist ohne Vegetation in/an einem der Gebäude ggf. mit erheblichen Belästigungen durch Blendwirkungen zu rechnen.

Umliegende Verkehrswege

Als relevante, umliegende Verkehrswege wurden die Kreisstraße K 121 sowie die angrenzende Bahnstrecke identifiziert.

Bei einer Süd-Ausrichtung konnten (von den drei betrachteten Modulneigungswinkeln) lediglich bei einem Modulneigungswinkel von 15° im sehr begrenzten Ausmaß Blendwirkungen auf der K 121 identifiziert werden. Auf der Bahnstrecke können bei einer Süd-Ausrichtung (unabhängig vom Neigungswinkel) an den Stellen Blendwirkungen entstehen, wo bei Fahrtrichtung gen Osten seitlich auf die nördlichsten Modulreihen der jeweiligen Generatorfelder geblickt werden kann. Dies trifft im Ist-Zustand hauptsächlich auf Planteil 1 zu, bei den anderen Planteilen blockiert die Vegetation überwiegend die (seitliche) Sicht auf die Modultische. Blendwirkungen auf die Bahnstrecke und die K 121 bei einer Süd-Ausrichtung können unterbunden werden, wenn die Modultische parallel zur Bahnstrecke ausgerichtet werden (Reduzierung des Azimuts um ca. 10° , ausgehend von einer reinen Süd-Ausrichtung).

Bei einer Ost-West-Ausrichtung ist hingegen mit deutlich mehr Blendwirkungen auf den Verkehrswegen zu rechnen. Fahrzeugführer auf der K 121 wären bei Fahrtrichtung gen Süden im stärkeren Ausmaß von Blendwirkungen betroffen. Auf der Bahnstrecke entstünden Blendwirkungen für Lokführer in beiden Fahrtrichtungen, tendenziell überall, von wo Sichtbezug auf Module bestünde.

4 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen zur Bestimmung von PVA-bedingter Blendwirkung dargestellt.

4.1 Blendwirkung von Modulen

Ein Photovoltaikmodul besteht aus einer Vielzahl von Solarzellen, welche Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln. Zur Stabilisierung und zum Schutz vor Witterungseinflüssen liegen diese üblicherweise hinter einer Glasscheibe (Modulglas). Das Modulglas ist maßgeblich für die Blendwirkung verantwortlich. Da die Menge der generierten elektrischen Energie proportional zur Einstrahlungsstärke des Sonnenlichts ist, versuchen Modulhersteller Reflexionen am Modul zu minimieren – denn umso geringer die Reflexionen sind, desto höher ist der Ertrag. Aus diesem Grund besitzt das Modulglas i. d. R. eine spezielle Oberflächentexturierung und eine sog. Antireflexionsschicht. Beides sorgt dafür, dass möglichst viel Licht auf die Solarzellen trifft und nicht durch Reflexionen verloren geht [3].

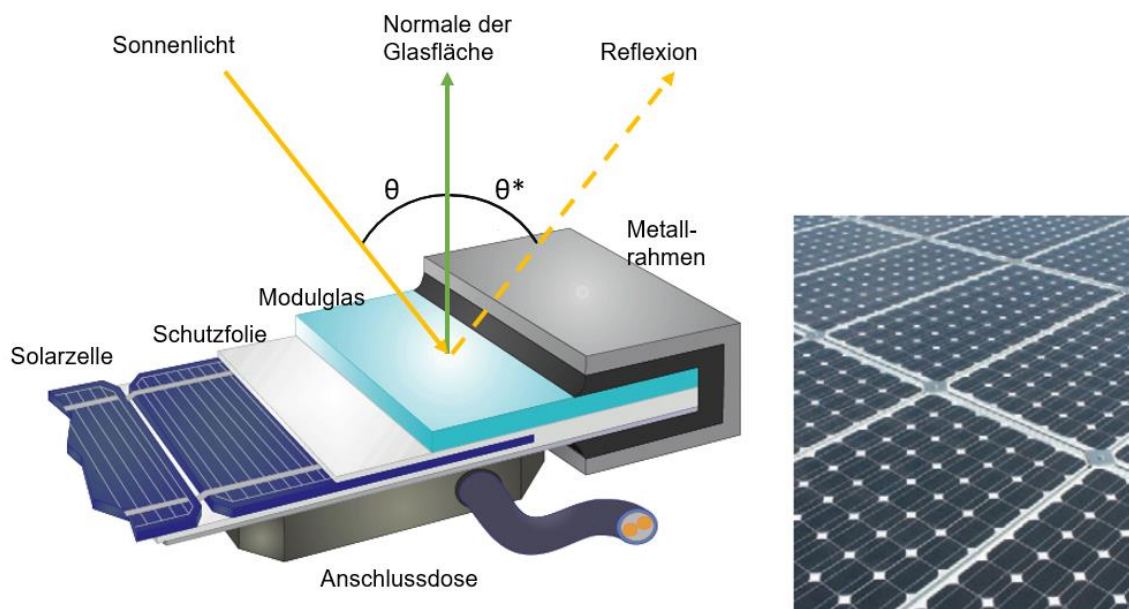


Abbildung 7: Aufbau eines Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“ –
Quelle: [4] (modifiziert)

Aus diesem Grund reflektieren Solarmodule nur einen Bruchteil des Sonnenlichts (ca. 5 %), vorausgesetzt, der Einstrahlungswinkel θ (siehe Abbildung 7) ist klein. Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass trotz Texturierung und Antireflexionsschicht der Anteil des reflektierten Sonnenlichts bei höherem Einstrahlungswinkel exponentiell zunimmt (siehe Abbildung 8).

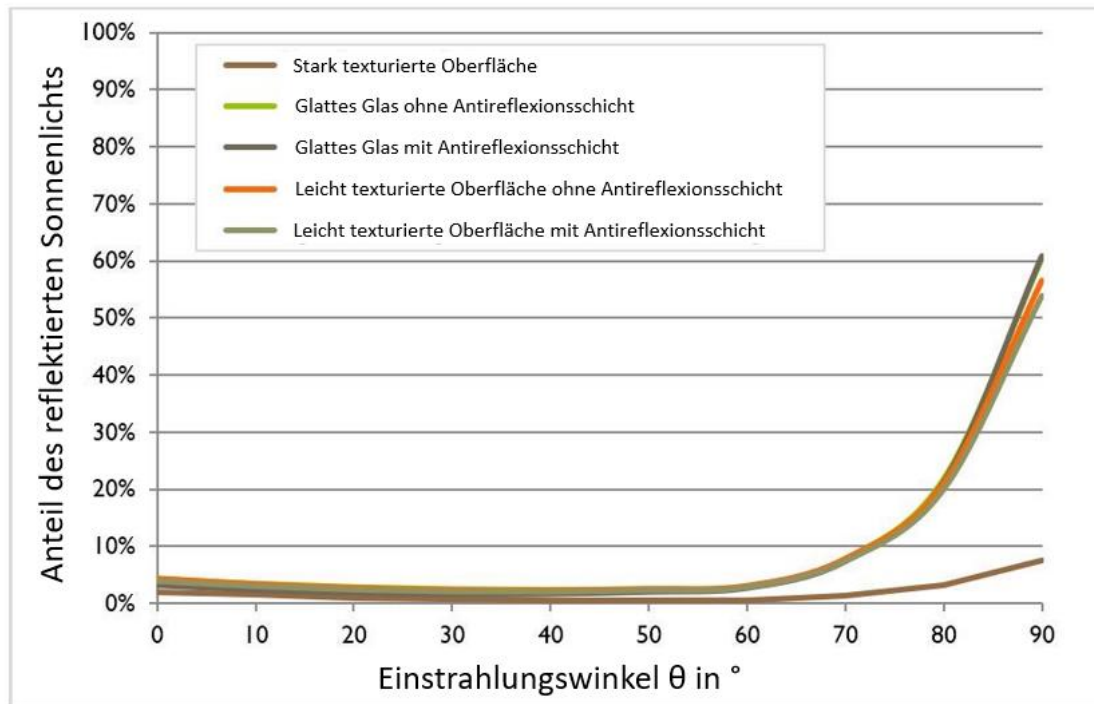


Abbildung 8: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einstrahlungswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen – Quelle: [5], modifiziert

Da bereits Reflexionen von unter 1 % des Sonnenlichts zu einer Absolutblendung führen können [2], müssen alle Einstrahlungswinkel berücksichtigt werden.

Die Oberflächentexturierung von Modulglas führt dazu, dass Sonnenlicht zwar weniger intensiv, dafür aber gestreut reflektiert wird, d. h. der Immissionsort der Reflexion vergrößert sich. Die Intensität von Reflexionen an Solarmodulen ist somit auch nicht mit Reflexionen an z. B. glatten Fensterscheiben zu vergleichen, wo das Sonnenlicht gerichtet reflektiert wird. Neue PV-Module besitzen i. d. R. eine Antireflexionsschicht sowie zumindest eine leicht texturierte Oberfläche. Dies wird auch für den geplanten Modultyp angenommen.



Abbildung 9: Veranschaulichung der Reflexion an einem texturierten Modulglas (mitte-links) und einem glatten Modulglas (mitte-rechts) – Quelle Aufnahme: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

4.2 Modellierung der Reflexionen

Reflexionen an PV-Modulen können geometrisch hergeleitet werden. Dafür werden die Module, die relevanten Immissionsorte und die Sonne in einem gemeinsamen Koordinatensystem modelliert [2]. Der standortbezogene Sonnenverlauf kann auf Basis mathematischer Funktionen für jeden Zeitpunkt im Jahr bestimmt werden [6]. Durch Winkelbeziehungen und Strahlengesetze kann nachvollzogen werden, wo und wann Blendwirkungen auftreten. Das Einbeziehen von Modulglas-spezifischen Streuwinkeln und Reflexionskoeffizienten ermöglicht eine noch genauere Betrachtung [5].

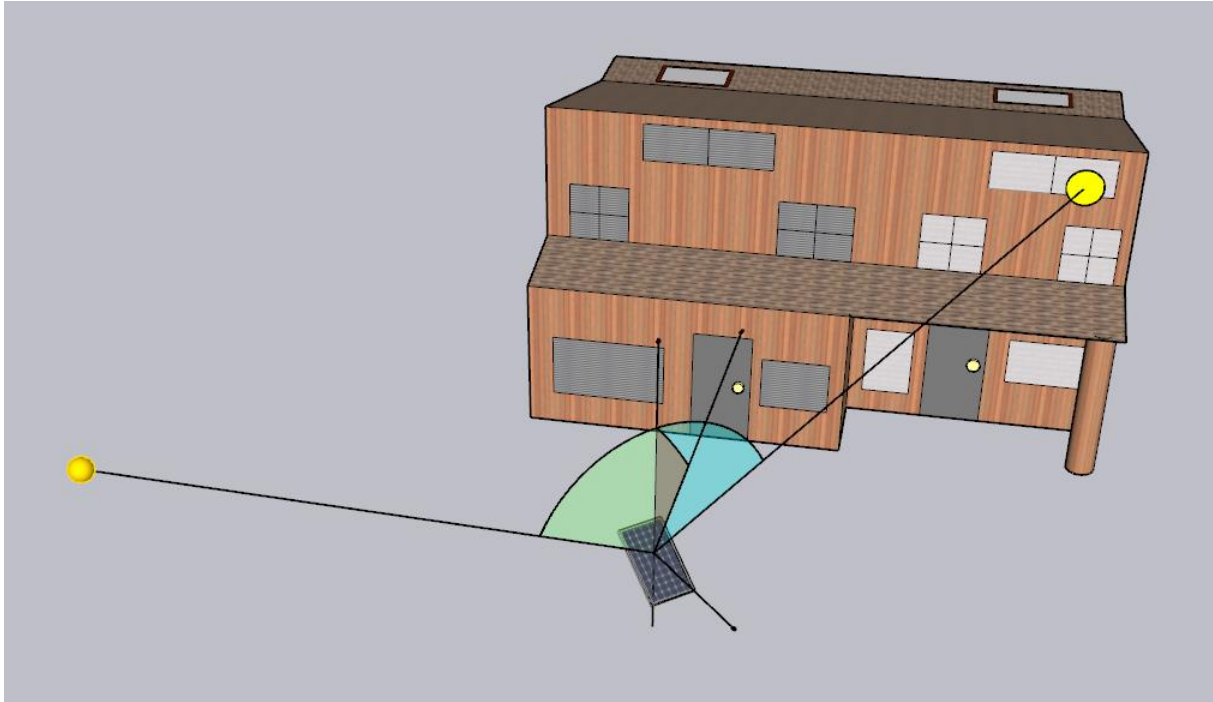


Abbildung 10: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

Im Rahmen der Simulation wird mit der Software ForgeSolar die Blendwirkung der PVA mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute für ein ganzes Jahr berechnet. Die Software basiert auf dem „Solar Glare Hazard Analysis Tool“ (SGHAT) der Sandia National Laboratories.

In der Simulation wird immer von einem klaren Himmel ausgegangen, um die astronomisch maximal möglichen Blendzeiträume zu ermitteln. Eine erweiterte Liste mit Annahmen und Limitationen bzgl. der Simulation können Anhang A entnommen werden.

5 Umliegende schutzwürdige Räume (Immissionsschutz)

5.1 Übersicht

Der LAI-Leitfaden benennt als maßgebliche Immissionsorte schutzwürdige Räume, sofern sie zu einer der folgenden Kategorien gehören [2].

- Wohnräume
- Schlafräume (einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien)
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume
- An Gebäuden anschließende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone)

In der näheren Umgebung der PVA befinden sich drei Wohnhäuser. Ein Wohnhaus ist jedoch stark baufällig und entsprechend nicht bewohnt. Da dieser Zustand (augenscheinlich) schon länger anhält, wird das baufällige Wohnhaus nicht als Wohnraum klassifiziert. Die bewohnten Häuser werden als schutzwürdig betrachtet. Relevante Belästigungen für das Siedlungsgebiet der Gemeinde Rom können aufgrund der Lage (südlich der PVA) und Entfernung (ca. 1 km) pauschal ausgeschlossen werden [2].

Um die Lichtimmissionen/Blendwirkungen der PVA auf die umliegenden (bewohnten) Wohnhäuser auswerten zu können, wird jedes (bewohnte) Haus durch einen sog. Observationspunkt (OP) vertreten (siehe Abbildung 11). Ein OP stellt in der Simulation einen statischen Betrachter mit einem 360°-Blickfeld dar, und dient als Detektor für auftretende Reflexionen/Blendwirkungen. Da i. d. R. höhergelegene Immissionsorte mehr Reflexionen erfahren, wurde OP 2 auf eine Höhe von 4,5 m gesetzt (1. Obergeschoss). Das Haus bei OP 1 besitzt lediglich ein Erdgeschoss, dementsprechend wurde die Höhe des OP dort auf 1,65 m gesetzt.

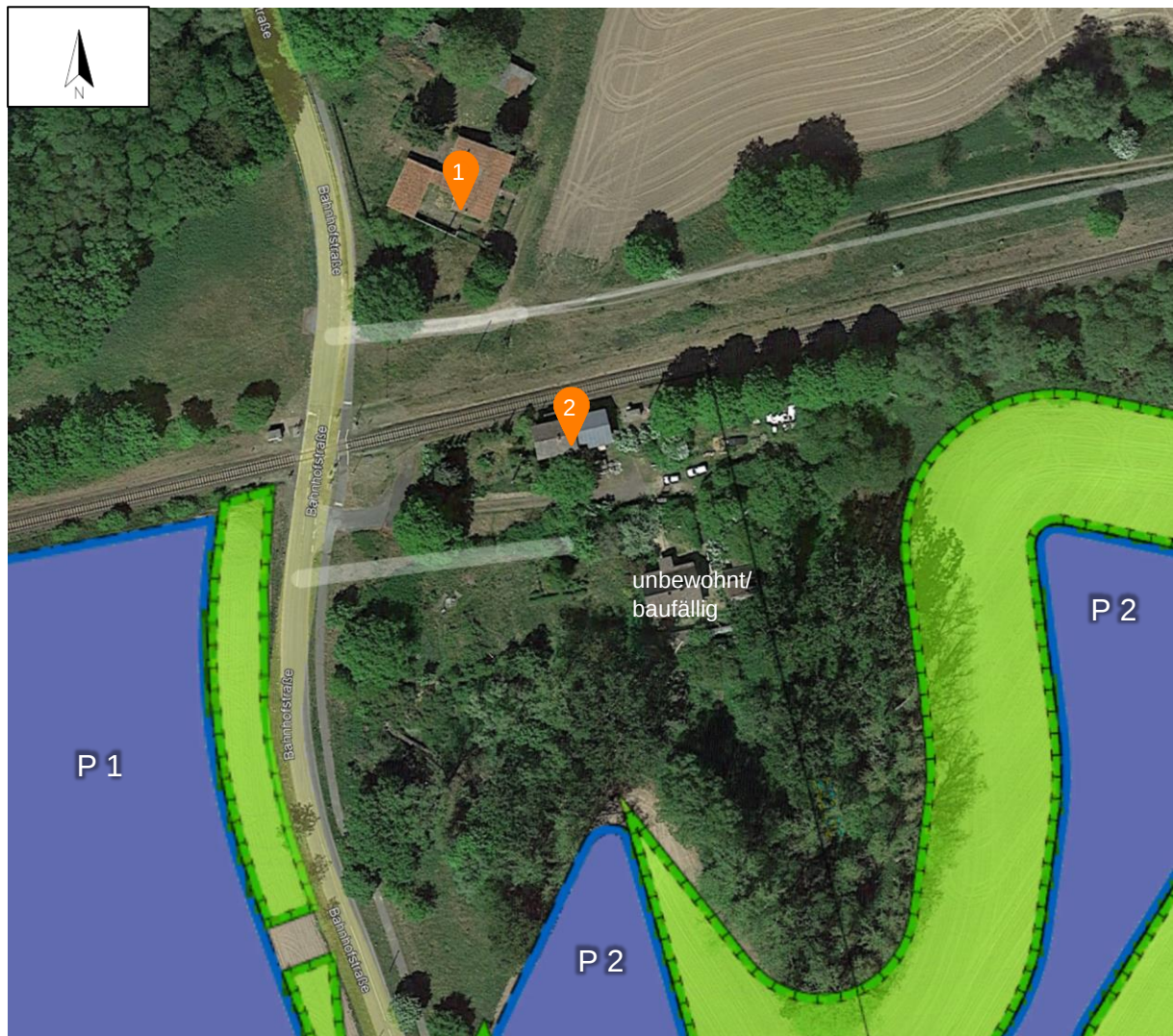


Abbildung 11: Übersicht der Observationspunkte (orangene Marker) –
Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

5.2 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse bzgl. der Lichtimmissionen/Blendwirkungen auf die Observationspunkte (OP) dargestellt (welche die umliegenden Wohnhäuser repräsentieren).

Laut dem LAI-Leitfaden findet eine erhebliche Belästigung (durch PVA-bedingte Lichtimmissionen) statt, wenn ein schutzwürdiger Raum mehr als 30 Minuten pro Tag und/oder 30 Stunden pro Jahr Blendwirkungen erfährt [2]. Jedoch sind laut der Leitlinie für die Ermittlung der Blendzeiträume nicht alle Reflexionen zu berücksichtigen.

Der LAI-Leitfaden schreibt für die Ermittlung der Blendzeiträume ein vereinfachtes (idealisiertes) Modell vor, das die Solarmodule als ideal verspiegelte Oberflächen darstellt [2]. Eine Spiegeloberfläche reflektiert Sonnenlicht gerichtet – es kommt also zu keiner (bzw. nur einer sehr kleinen) Streuung des Sonnenlichts (bei weniger Streuung verkleinern sich die Blendzeiträume). In der Simulation wurde jedoch ein realistisches Modell verwendet, welches die oberflächenspezifischen Eigenschaften von realen Solarmodulen berücksichtigt. Um dennoch eine Auswertung nach der LAI-Leitfaden zu ermöglichen, werden die Blendwirkungen, die mit dem vereinfachten Modell ermittelt werden würden, im Folgenden als sog. „**Kernblendung**“ bezeichnet (die übrigen als sog. „**gestreute Reflexion**“) und stets differenzierbar dargestellt.

Außerdem sollen laut dem LAI-Leitfaden Reflexionen, welche am Immissionsort mit einem **Differenzwinkel von $\leq 10^\circ$** in Relation zur direkten Sonnenstrahlung auftreten, nicht als relevante Blendwirkungen betrachtet werden [2]. Somit wird der Umstand berücksichtigt, dass wenn die Sonne tief und aus nahezu der gleichen Richtung scheint wie die Reflexionen an den Modulen, die PVA-bedingten Blendwirkungen von der Sonne überlagert werden. Auch diese Reflexionen werden im Folgenden differenzierbar dargestellt (sofern sie auftreten).

In der Simulation wurden die umliegenden Waldflächen berücksichtigt, welche die Generatorfelder bei tiefstehender Sonne verschatten (dies reduziert potenzielle Blendzeiträume).

Zeitangaben (Uhrzeiten) sind stets in der mitteleuropäischen Normalzeit (MEZ, UTC+1) dargestellt.

5.2.1 Zusammenfassung

Tabelle 2: Zusammenfassung der relevanten Blendzeiträume (Kernblendung) auf die umliegenden, schutzwürdigen Räume unter Berücksichtigung der lokalen Vegetation (Ist-Zustand)

Observationspunkt	Azimut	Modulneigung	Max. tägl. Blenddauer in Minuten (Kernblendung)	Jährliche Blenddauer (gesamt) in Minuten (Kernblendung)
1	180°	15°, 20°, 25°	0	0
2	180°	15°, 20°, 25°	0	0
1	90°/270°	15°, 20°, 25°	0	0
2	90°/270°	15°, 20°, 25°	0	0

5.2.2 Süd-Ausrichtung

5.2.2.1 Observationspunkt 1

Aufgrund der Lage nördlich der PVA wird OP 1 bei einer Süd-Ausrichtung keine Blendwirkungen erfahren. Reflexionen sind in diese Richtung geometrisch nicht möglich.

5.2.2.2 Observationspunkt 2

Auch OP 2 liegt nördlich zu den PV-Modulen und wird demnach bei einer Süd-Ausrichtung keine Blendwirkungen erfahren.

5.2.3 Ost-West-Ausrichtung

5.2.3.1 Observationspunkt 1

Das Gebäude bei OP 1 besitzt kein Obergeschoss. Rund um das Grundstück sind immergrüne Hecken gepflanzt, welche für sich genommen bereits den Sichtbezug vom Haus/Garten zur PVA effektiv unterbinden. Hinzu kommt die dichte Vegetation neben den Bahngleisen. Zusammengenommen blockiert die Vegetation somit effektiv jegliche Reflexionen zu OP 1. Eine Belästigung ist somit auszuschließen.

Selbst ohne Vegetation überstiegen die entstehenden Blendwirkungen keinen im LAI-Leitfaden genannten Grenzwert.

5.2.3.2 Observationspunkt 2

Das Gebäude bei OP 2 ist von einer dichten Vegetation umgeben. Nach Westen hin stehen große Tannen auf dem Grundstück, welche die Sicht auf Planteil 1 blockieren. Im Osten von OP 1 und 2 existieren mehrere Bäume/Büsche (teilweise sogar ein kleines Waldstück), welche die Sicht auf Planteil 2 blockieren. Somit können keine (oder nur sehr vereinzelt) Reflexionen von den umliegenden Planteilen 1 und 2 auf das Gebäude treffen. Die Sicht auf die Planteile 3 bis 5 ist zusätzlich von weiteren Waldabschnitten blockiert. Belästigungen sind im Ist-Zustand somit auszuschließen.

Bestünde keine Vegetation um OP 2, so wäre mit erheblichen Blendwirkungen zu rechnen, da ggf. Grenzwerte des LAI-Leitfadens überstiegen werden. Die folgenden Diagramme stellen beispielhaft die Blendwirkungen auf OP 2 dar, wenn keine Vegetation die Sicht blockieren würde. Die Blendwirkungen von Planteil 1 und 2 werden separat dargestellt.

Ausgehend von Planteil 1 könnten täglich bis zu 20 Minuten und pro Jahr 3251 Minuten relevante Blendwirkungen (Kernblendung) entstehen, wenn keine Vegetation bestünde.

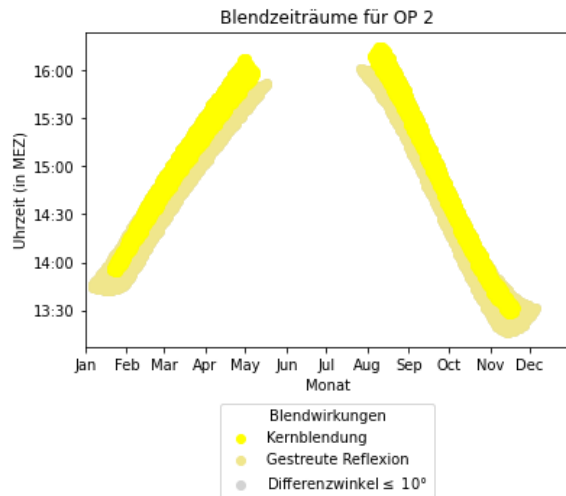


Abbildung 12: Blendzeiträume für OP 2, ausgehend von Planteil 1, wenn keine Vegetation bestünde

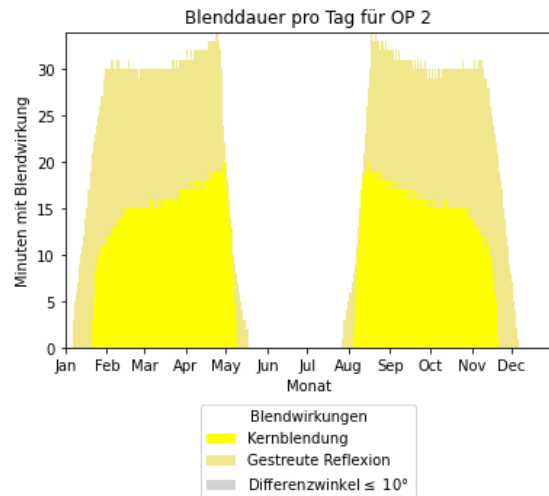


Abbildung 13: Blenddauer pro Tag für OP 2, ausgehend von Planteil 1, wenn keine Vegetation bestünde

Ausgehend von Planteil 2 könnten täglich bis zu 23 Minuten und pro Jahr 14000 Minuten Blendwirkungen (Kernblendung) entstehen, wenn keine Vegetation bestünde.

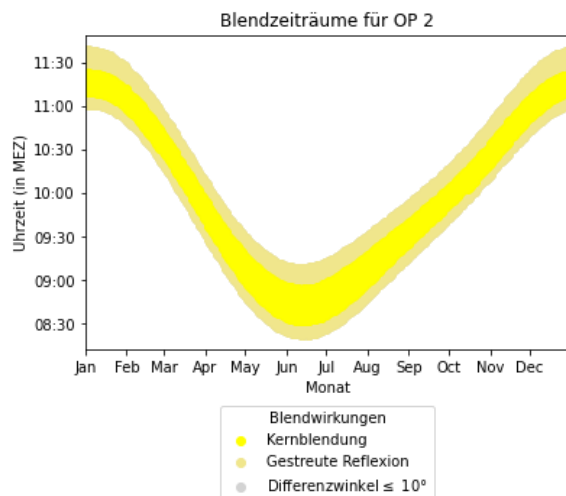


Abbildung 14: Blendzeiträume für OP 2, ausgehend von Planteil 2, wenn keine Vegetation bestünde

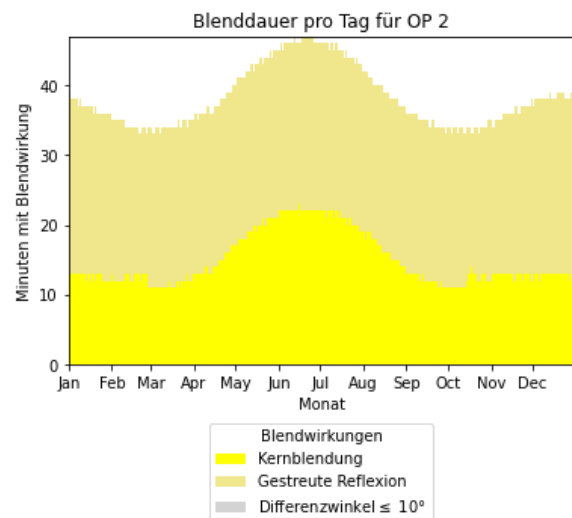


Abbildung 15: Blenddauer pro Tag für OP 2, ausgehend von Planteil 2, wenn keine Vegetation bestünde

6 Umliegender Straßenverkehr

6.1 Übersicht

Im Folgenden werden relevante Verkehrswege (Straßen und Bahnstrecken) aufgeführt, welche aufgrund ihrer Nähe zur PVA bzgl. möglicher Blendwirkungen ausgewertet wurden. Straßen/Wege landwirtschaftlicher oder forstwirtschaftlicher Art (sog. Feldwege) sowie nur sporadisch befahrene Straßen werden als nicht relevant eingestuft (und wurden somit nicht weiter betrachtet).

Als relevante Verkehrswege wurden die Kreisstraße K 121 und die angrenzende Bahnstrecke (Mecklenburgische Südbahn) identifiziert.

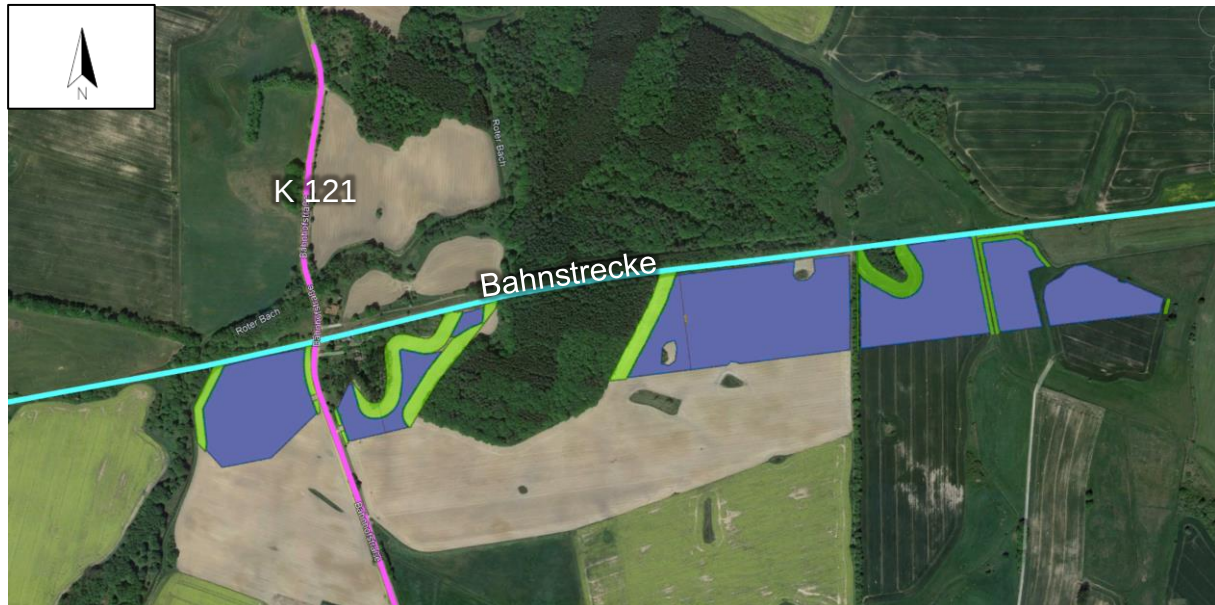


Abbildung 16: Übersicht der relevanten Verkehrswege - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

In der Simulation wurden als Verkehrsteilnehmer PKW- und LKW-Fahrer sowie Lokführer berücksichtigt, welche sich durch ihre Sitzhöhe (und somit Augenhöhe) unterscheiden. Die Augenhöhe von PKW-Fahrern wurde auf 1,20 m, die von LKW-Fahrern auf 2,65 m und die von Lokführern auf 2,40 m festgelegt (Annahmen).

Reflexionen, welche im peripheren Sichtbereich einer Person emittiert werden, führen i. d. R. zu keiner nennenswerten Blendwirkung. Der relevante (horizontale) Sichtbereich einer fahrenden Person wurde in Anlehnung an [7] auf 80° festgelegt (jeweils 40° zu beiden Seiten der Blickrichtung). Für Fahrzeugführer wird angenommen, dass die Blickrichtung der Fahrtrichtung entspricht. An Kreuzungen/Bahnübergängen wird ein Sichtfeld von 180° angenommen, um das Umschauen in verschiedene Richtungen zu berücksichtigen.

In der Simulation wurden daher nur Blendwirkungen/Reflexionen berücksichtigt, welche innerhalb des relevanten Sichtfelds emittiert werden (Abbildung 19 stellt das relevante Sichtfeld für eine fahrende Personen dar).

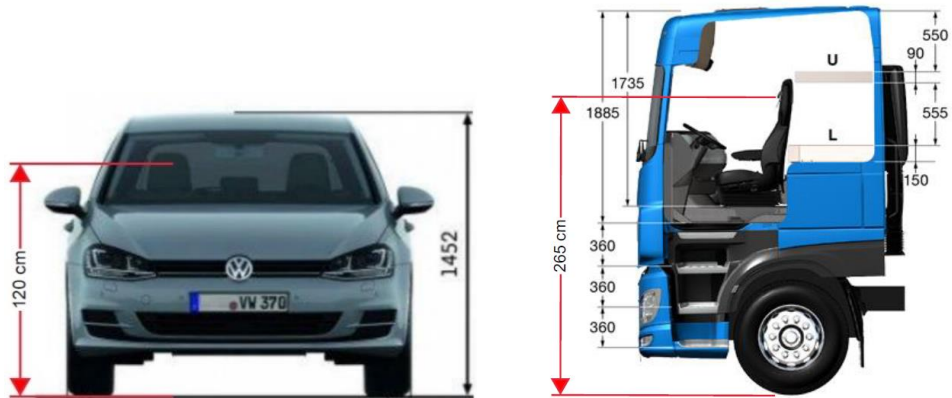


Abbildung 17: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer - Quelle: Volkswagen AG, BTS GmbH & Co. KG, modifiziert

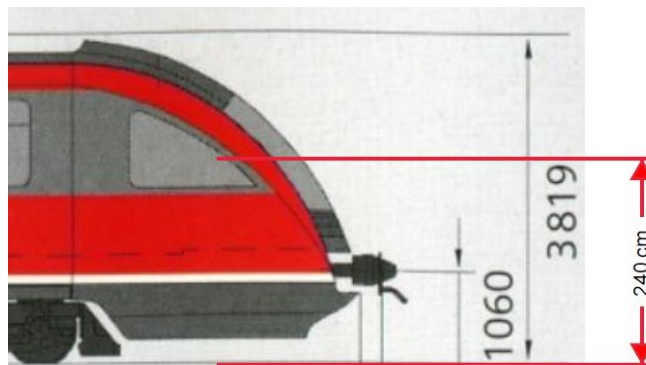


Abbildung 18: Angenommene Augenhöhe von Lokführern
Quelle Abbildung: www.nahverkehr-franken.de, modifiziert

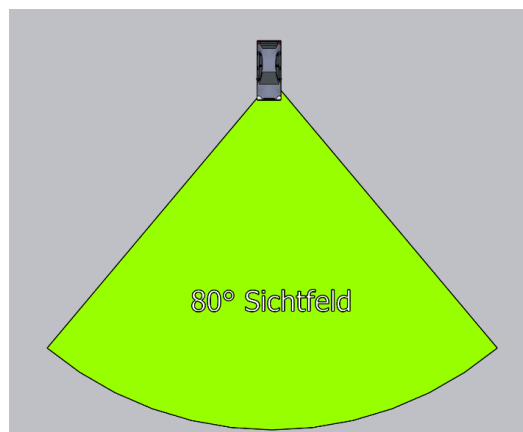


Abbildung 19: Darstellung des für Blendwirkungen relevanten Sichtfeldes von Fahrzeugführern während der Fahrt (anders als dargestellt ist es in der Länge nicht begrenzt) - Quelle: Eigene Abbildung

6.2 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse bzgl. der Blendwirkungen auf die relevanten Verkehrswege dargestellt.

Anders als bei der Betrachtung von Lichtimmissionen auf schutzwürdige Räume, werden bei der Betrachtung von Blendwirkungen auf den Straßen- und Bahnverkehr alle Reflexionen als relevant angesehen, welche aufgrund ihrer Intensität eine Blendwirkung bewirken könnten und nicht von der Sonne überlagert werden.

Steht die Sonne tiefer als ca. 5°, kann sie in einem Fahrzeug nicht mehr mit einer Blende verdeckt werden (Annahme). Beträgt der Differenzwinkel zwischen Reflexion und direkter Sonnenstrahlung (bezogen auf den Betrachter) zur gleichen Zeit $\leq 10^\circ$, so kann (in Anlehnung an [2]) angenommen werden, dass die Sonne die PVA-bedingte Blendwirkung überlagert. PVA-bedingte Blendwirkungen, die stattfinden, wenn die zwei genannten Kriterien zutreffen, werden im Folgenden differenzierbar dargestellt und als nicht relevant betrachtet.

In der Simulation wurden die umliegenden Waldflächen berücksichtigt, welche die Generatorfelder bei tiefstehender Sonne verschatten (dies reduziert potenzielle Blendzeiträume).

Zeitangaben (Uhrzeiten) sind stets in der mitteleuropäischen Normalzeit (UTC+1) dargestellt.

6.2.1 Zusammenfassung

Tabelle 3: Zusammenfassung der relevanten Blendzeiträume auf den Straßen- und Bahnverkehr unter Berücksichtigung der lokalen Vegetation (Ist-Zustand)

Verkehrsweg	Azimut	Modulneigung	Max. tägl. Blenddauer in Minuten	Jährliche Blenddauer (gesamt) in Minuten
K 121	180°	15°*	7	131
Bahnstrecke	180°	15°	28	3033
	180°	20°	23	2020
	180°	25°	22	773
K 121	90°/270°	20°**	85	18840
Bahnstrecke	90°/270°	20°**	155	24660

*Nur bei einem Neigungswinkel von 15° konnten Blendwirkungen auf der K 121 bei einer Süd-Ausrichtung festgestellt werden.

**Die Ergebnisse unterscheiden sich bei den betrachteten Modulneigungswinkeln (15°, 20° und 25°) nur geringfügig. Dementsprechend werden nur die Ergebnisse für einen Neigungswinkel von 20° stellvertretend aufgeführt.

6.2.2 Süd-Ausrichtung

6.2.2.1 Kreisstraße K 121

Nur bei einem Modulneigungswinkel von 15° konnten Blendwirkungen auf der K 121 identifiziert werden. Die Blendwirkungen treten bei Fahrtrichtung gen Norden durch Reflexionen in Planteil 1 auf, wenn seitlich auf die Modulreihen geblickt wird. Abbildung 20 zeigt die Blendzeiträume und Abbildung 21 die Blenddauer pro Tag. Abbildung 22 zeigt den betroffenen Abschnitt der K 121. Die Blendwirkungen auf der Kreisstraße fallen mit max. 7 Minuten pro Tag und insgesamt 131 Minuten pro Jahr (quantitativ) gering aus.

Anmerkungen: Wenn die Modultische (Planteil 1) parallel zur Bahnstrecke ausgerichtet werden (Azimut von ca. 170°), konnten keine Blendwirkungen mehr auf der K 121 ermittelt werden.

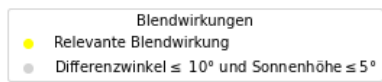
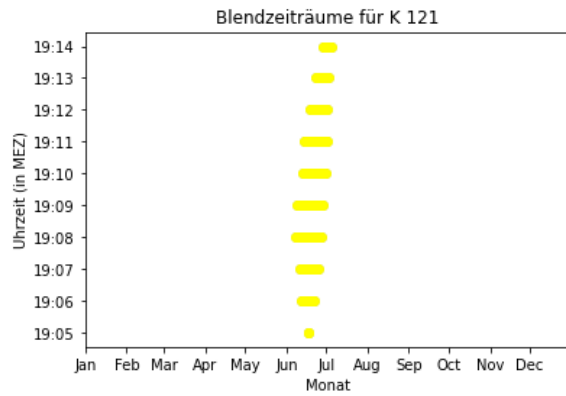


Abbildung 20: Blendzeiträume für K 121 bei einer Süd-Ausrichtung und einem Modulneigungswinkel von 15°

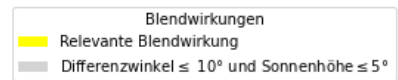
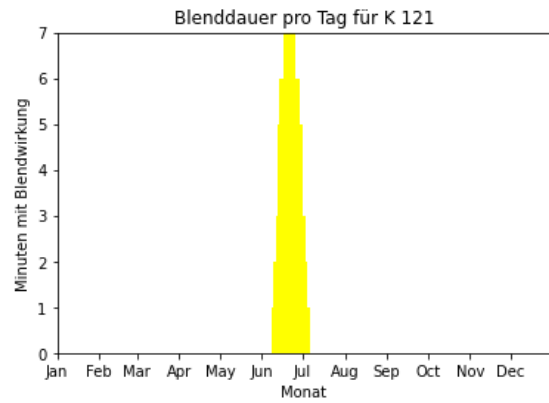


Abbildung 21: Blenddauer pro Tag für K 121 bei einer Süd-Ausrichtung und einem Modulneigungswinkel von 15°



Abbildung 22: Von Blendwirkungen betroffener Abschnitt der K 121 (grobe Position) bei einer Süd-Ausrichtung - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

6.2.2.2 Bahnstrecke

Auf der Bahnstrecke können Blendwirkungen entstehen, wenn bei Fahrtrichtung gen Osten seitlich auf die Modulreihen von Planteil 1 geblickt wird (siehe Abbildung 23). Es wird angenommen, dass bei den anderen Planteilen die dortige Vegetation (zwischen Bahnstrecke und Anlagengelände) die seitliche Sicht auf die Modulreihen (überwiegend) unterbindet, sodass die Blendwirkungen dort höchstens über sehr kurze Abschnitte auftreten können. Sollte bei den anderen Planteilen abschnittsweise eine seitliche Sicht auf die Modulreihen möglich sein, so gelten dort (ungefähr) auch die gleichen Blendzeiträume wie sie im Folgenden für Planteil 1 dargestellt werden. Die Blendwirkungen können komplett unterbunden werden, wenn die Modultische entsprechend der Bahnstrecke (bzw. nördlichen Anlagengrenze) ausgerichtet werden (Reduzierung des Azimuts um ca. 10°).

Die folgenden Diagramme zeigen die Blendwirkungen für unterschiedliche Modulneigungswinkel. Bei einem Neigungswinkel von 15° fänden 3033 Minuten pro Jahr, bei 20° 2020 Minuten pro Jahr und bei 25° 773 Minuten pro Jahr Blendwirkungen auf der Bahnstrecke statt.

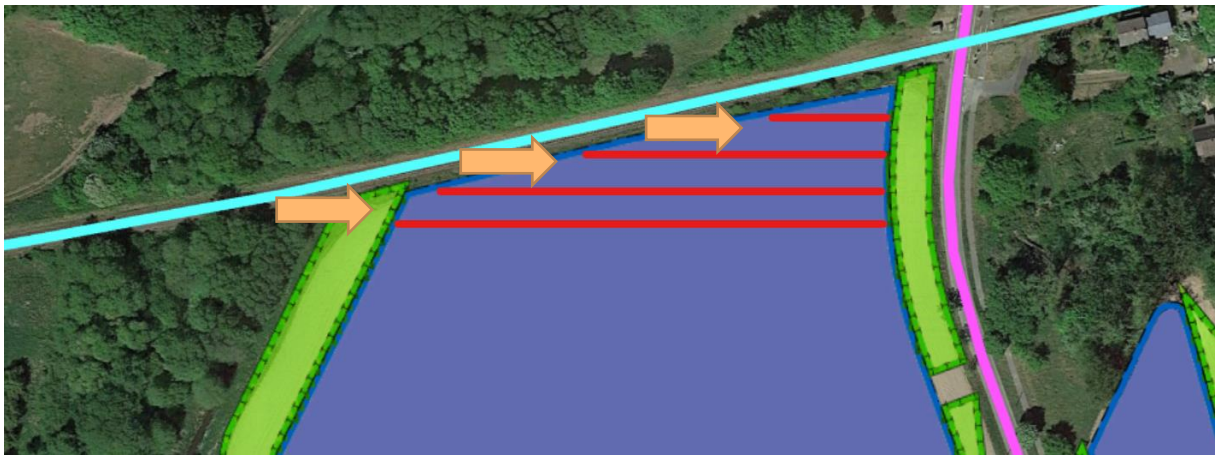


Abbildung 23: Blendwirkungen auf der Bahnstrecke bei einer Süd-Ausrichtung: Reflexionen können bei Fahrtrichtung gen Osten erfahren werden, wenn seitlich auf die Modulreihen geblickt wird.
- Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

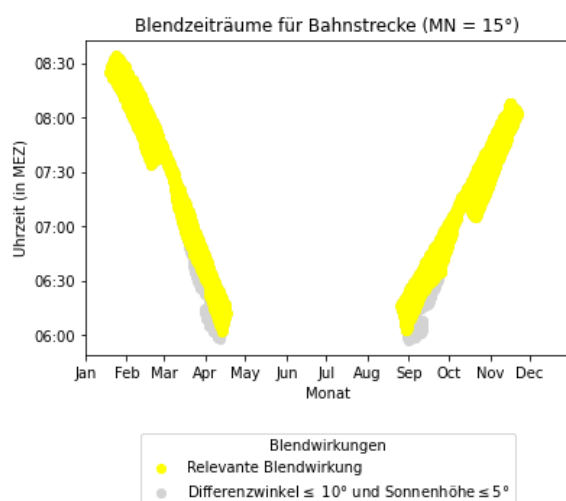


Abbildung 24: Blendzeiträume für die Bahnstrecke, ausgehend von Planteil 1 bei einer Süd-Ausrichtung und einer Modulneigung von 15°

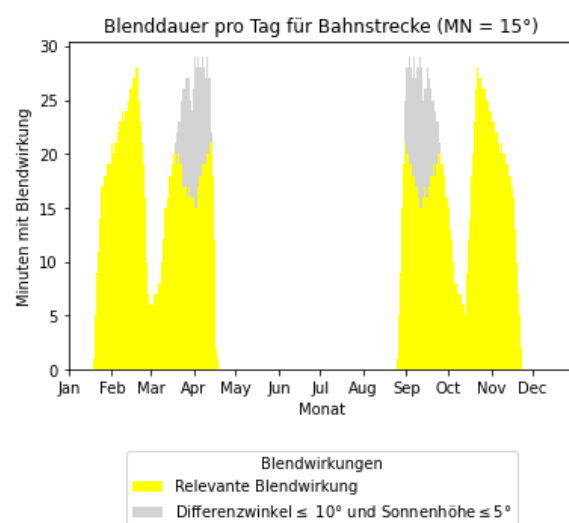


Abbildung 25: Blenddauer pro Tag für die Bahnstrecke, ausgehend von Planteil 1 bei einer Süd-Ausrichtung und einer Modulneigung von 15°

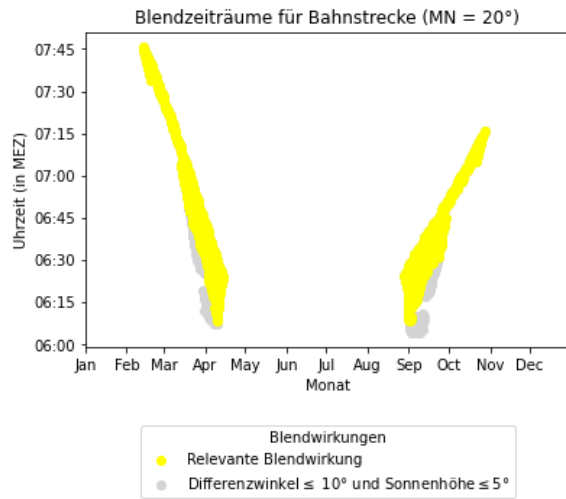


Abbildung 26: Blendzeiträume für die Bahnstrecke, ausgehend von Planteil 1 bei einer Süd-Ausrichtung und einer Modulneigung von 20°

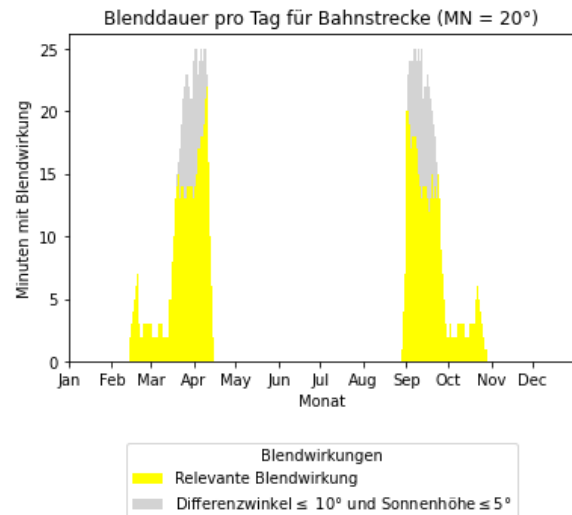


Abbildung 27: Blenddauer pro Tag für die Bahnstrecke, ausgehend Planteil 1 bei einer Süd-Ausrichtung und einer Modulneigung von 20°

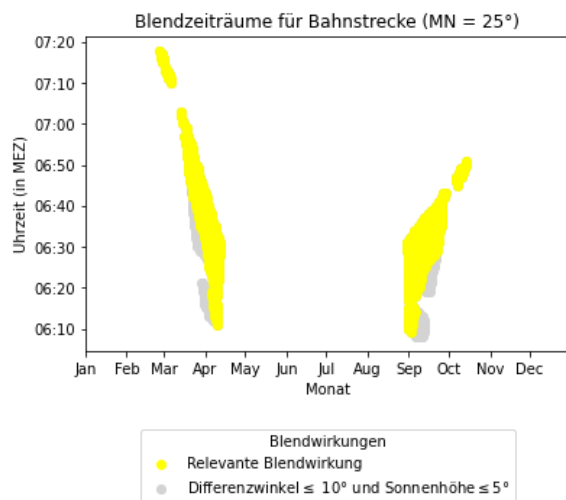


Abbildung 28: Blendzeiträume für die Bahnstrecke, ausgehend von Planteil 1 bei einer Süd-Ausrichtung und einer Modulneigung von 25°

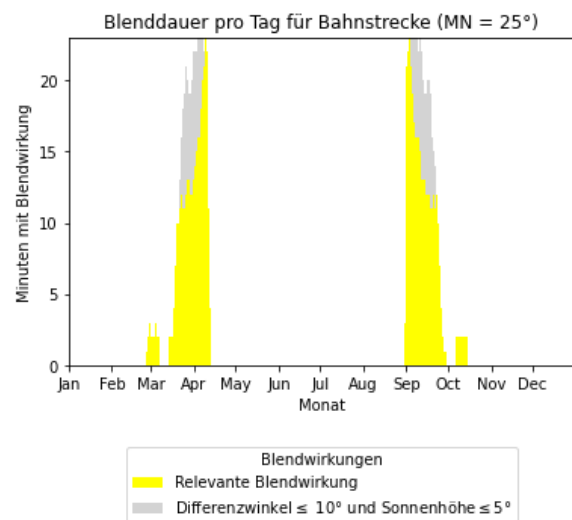


Abbildung 29: Blenddauer pro Tag für die Bahnstrecke, ausgehend Planteil 1 bei einer Süd-Ausrichtung und einer Modulneigung von 25°

6.2.3 Ost-West-Ausrichtung

Es wurde festgestellt, dass sich die Ergebnisse bzgl. der Blendwirkungen bei unterschiedlichen Modulneigungen (15° , 20° und 25°) in diesem Fall nicht signifikant unterscheiden. Demnach werden im Folgenden lediglich die Ergebnisse für einen Modulneigungswinkel von 20° (stellvertretend für alle) dargestellt.

6.2.3.1 Kreisstraße K 121

Auf der K 121 können bei Fahrtrichtung gen Süden durch Reflexionen an Planteil 1 und 2 Blendwirkungen entstehen. Abbildung 30 zeigt die Blendzeiträume und Abbildung 31 die Blenddauer pro Tag. Abbildung 32 zeigt den betroffenen Abschnitt der K 121. Pro Tag entstehen so bis zu 85 Minuten und pro Jahr insgesamt 18840 Minuten Blendwirkungen.

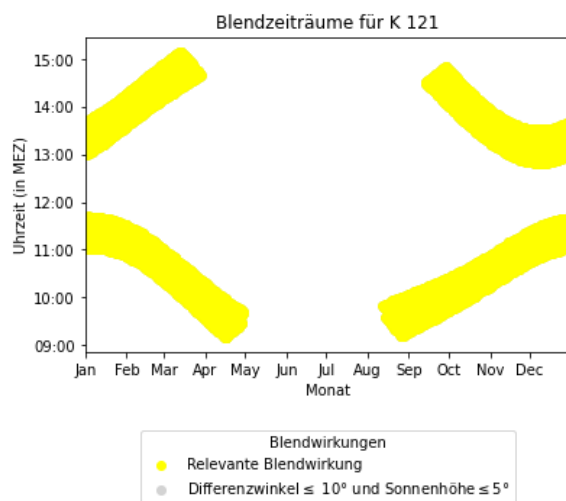


Abbildung 30: Blendzeiträume für K 121 bei einer Ost-West-Ausrichtung

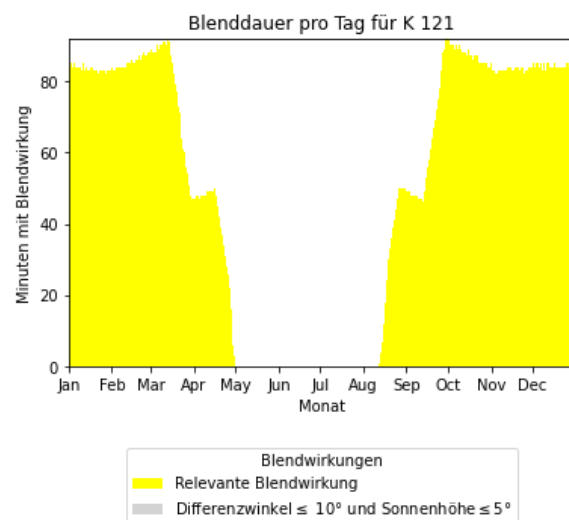


Abbildung 31: Blenddauer pro Tag für K 121 bei einer Ost-West-Ausrichtung

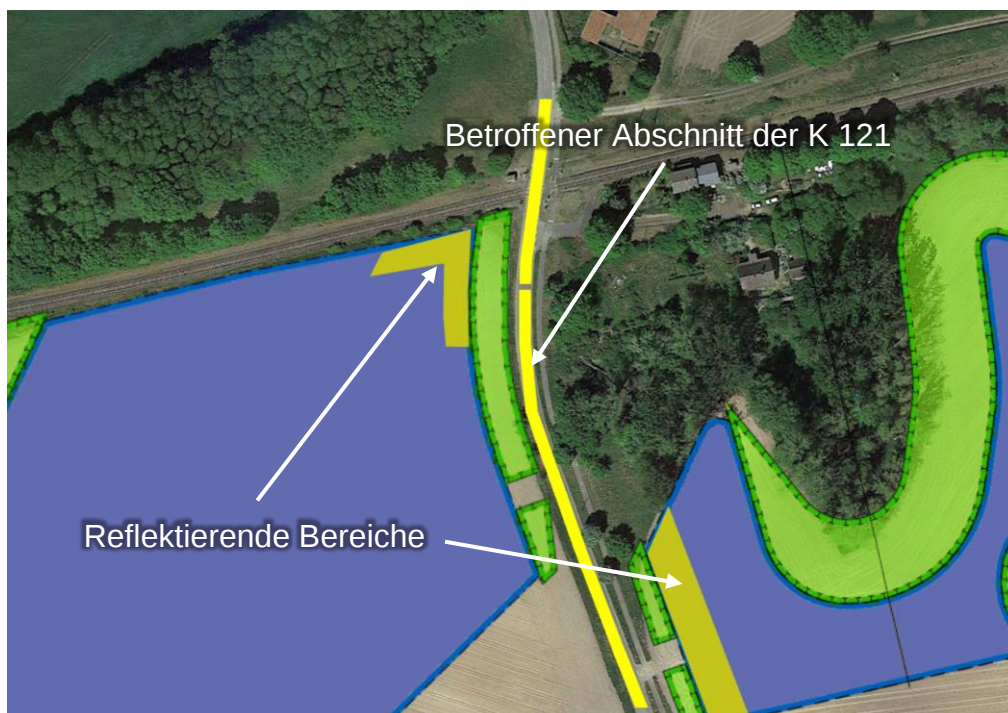


Abbildung 32: Von Blendwirkungen betroffener Abschnitt der K 121 (grobe Position) bei einer Ost-West-Ausrichtung - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

6.2.3.2 Bahnstrecke

Auf der Bahnstrecke können bei beiden Fahrtrichtungen Blendwirkungen entstehen. Blendwirkungen treten bei Fahrtrichtung gen Westen in den Abendstunden und bei Fahrtrichtung gen Osten in den Morgenstunden auf. Abbildung 33 zeigt die Blendzeiträume und Abbildung 34 die Blenddauer pro Tag. Tendenziell ist jeder Streckenabschnitt betroffen, von dem freie Sicht auf die angrenzenden Module besteht. An einigen Stellen blockiert Vegetation die Sicht von der Bahnstrecke auf die Module. Pro Tag entstehen so bis zu 155 Minuten und pro Jahr insgesamt 24660 Minuten Blendwirkungen auf der Bahnstrecke.

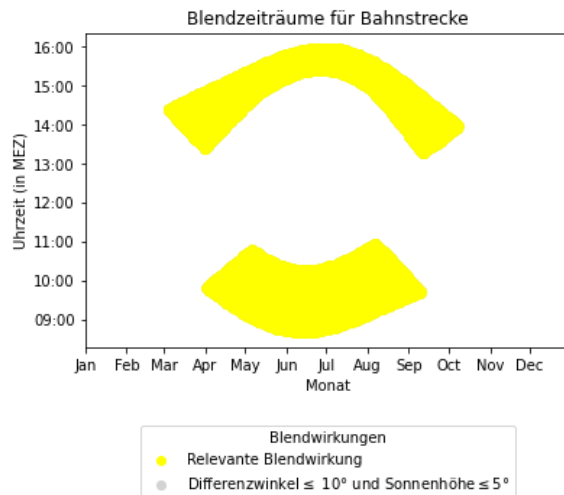


Abbildung 33: Blendzeiträume für die Bahnstrecke

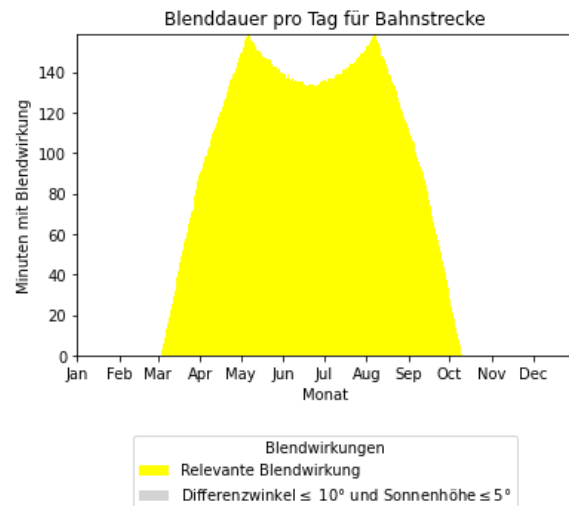


Abbildung 34: Blenddauer pro Tag für die Bahnstrecke

7 Literaturverzeichnis

- [1] B. CATTANEO, „Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)“, *EU Science Hub - European Commission*, 15. Juni 2018. <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis> (zugegriffen 17. April 2021).
- [2] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (Leitfaden)*. 2012. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/lichthinweise-2015-11-03mit-formelkorrektur_aus_03_2018_1520588339.pdf
- [3] K. Mertens, *Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*, 5. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2020.
- [4] Volker Quaschnig, *Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation*, 9. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2015.
- [5] J. Yellowhair und C. K. Ho, „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts“, San Diego, California, USA, Juni 2015, S. V002T11A003. doi: 10.1115/ES2015-49481.
- [6] J. A. Duffie und W. A. Beckman, „Solar Engineering of Thermal Processes“, Bd. 4, 2013.
- [7] R. Jurado-Piña und J. M. P. Mayora, „Methodology to Predict Driver Vision Impairment Situations Caused by Sun Glare“, *Transportation Research Record*, Bd. 2120, Nr. 1, S. 12–17, Jan. 2009, doi: 10.3141/2120-02.

Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT



4. Assumptions and Limitations

Below is a list of assumptions and limitations of the models and methods used in SGHAT:

- The software currently only applies to flat reflective surfaces. For curved surfaces (e.g., focused mirrors such as parabolic troughs or dishes used in concentrating solar power systems), methods and models derived by Ho et al. (2011) [1] can be used and are currently being evaluated for implementation into future versions SGHAT.
- SGHAT does not rigorously represent the detailed geometry of a system; detailed features such as gaps between modules, variable height of the PV array, and support structures may impact actual glare results. However, we have validated our models against several systems, including a PV array causing glare to the air-traffic control tower at Manchester-Boston Regional Airport and several sites in Albuquerque, and the tool accurately predicted the occurrence and intensity of glare at different times and days of the year.
- SGHAT assumes that the PV array is aligned with a plane defined by the total heights of the coordinates outlined in the Google map. For more accuracy, the user should perform runs using minimum and maximum values for the vertex heights to bound the height of the plane containing the solar array. Doing so will expand the range of observed solar glare when compared to results using a single height value.
- SGHAT does not consider obstacles (either man-made or natural) between the observation points and the prescribed solar installation that may obstruct observed glare, such as trees, hills, buildings, etc.
- The variable direct normal irradiance (DNI) feature (if selected) scales the user-prescribed peak DNI using a typical clear-day irradiance profile. This profile has a lower DNI in the mornings and evenings and a maximum at solar noon. The scaling uses a clear-day irradiance profile based on a normalized time relative to sunrise, solar noon, and sunset, which are prescribed by a sun-position algorithm [2] and the latitude and longitude obtained from Google maps. The actual DNI on any given day can be affected by cloud cover, atmospheric attenuation, and other environmental factors.
- The ocular hazard predicted by the tool depends on a number of environmental, optical, and human factors, which can be uncertain. We provide input fields and typical ranges of values for these factors so that the user can vary these parameters to see if they have an impact on the results. The speed of SGHAT allows expedited sensitivity and parametric analyses.
- Single- and dual-axis tracking compute the panel normal vector based on the position of the sun once it is above the horizon. Dual-axis tracking does not place a limit on the angle of rotation, unless the sun is below the horizon. For single-axis tracking, a maximum angle of rotation can be applied to both the clockwise and counterclockwise directions.

Ausschnitt wurde dem SGHAT-Handbuch (Solar Glare Hazard Analysis Tool) entnommen. Das vollständige Handbuch kann unter folgendem Link gefunden werden:

https://forgesolar.com/static/docs/SGHAT3-GlareGauge_user_manual_v1.pdf